

PERAN TOKSIKOLOGI FORENSIK DALAM MENGUNGKAP KASUS KERACUNAN DAN PENCEMARAN LINGKUNGAN

Dr. rer. nat. Budiawan

Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

Email : drbud@ui.edu, Dr.Budiawan@gmail.com

Abstract

In Indonesia, there are many cases of poisoning and environmental pollution which are hard to reveal, mostly because there are insufficient data needed to proof the cause of the case, i.e., Buyat Case, poisoning case of residents in Magelang, the death of Munir (Human Right Activist), and food poisoning which often occurs in Indonesia. The lack of knowledge and understanding of the requirements to make a conclusion about cases dealing with poisoning and environmental pollution makes the strategy for collecting data collection is often incorrect. Through forensic toxicology, the mechanism and fate of toxic substances in living organisms and its environmental fate could be understood, and make investigation easy, and the main cause of poisoning or pollution could be concluded. Biomonitoring is one of the sciences supporting investigation of scientific proof in Forensic Toxicology. Through the determination of biomarker, we could describe the exposure of toxic substances to a person, population or species in the environment, and also could describe the toxic substance which cause poisoning or pollution. The main concern in forensic toxicology is not the legal aspect output from toxicological investigation, but it is the technology and techniques in obtaining and interpreting results. Through the understanding of toxicology and the support of related sciences, the important and right strategy or measures could be taken to make the right conclusion in dealing with poisoning and environmental pollution cases.

Key words: Toxicology, toxic substances, biomonitoring, biomarker

Pendahuluan

Banyak kasus keracunan dan pencemaran lingkungan yang sulit terungkap, yang umumnya disebabkan karena seringkali data yang diperlukan tidak cukup untuk dapat membuktikan penyebabnya, seperti kasus Buyat, kasus keracunan di Magelang, kasus kematian aktivis HAM Munir, dan kasus

keracunan makanan yang seringkali terjadi di beberapa daerah di Indonesia. Kurangnya pemahaman mengenai hal-hal apa saja yang diperlukan untuk dapat membuat suatu kesimpulan mengenai kasus terkait keracunan dan pencemaran lingkungan menjadikan strategi pengumpulan data-data yang diperlukan seringkali tidak tepat.

Dengan pengembangan disiplin ilmu Toksikologi Modern, dapat membantu mengungkap kasus-kasus seperti contoh diatas melalui investigasi berdasarkan pemahaman perilaku zat penyebab keracunan atau sumber pencemaran, metode pengambilan sampel dan metode analisa, interpretasi data terkait dengan gejala/efek atau dampak yang timbul serta bukti-bukti lainnya yang tersedia.

Toksikologi Forensik dan Peranannya

Toksikologi (berasal dari kata Yunani, *toxikos* dan *logos*) merupakan studi mengenai perilaku dan efek yang merugikan dari suatu zat terhadap organisme/mahluk hidup. Dalam toksikologi, dipelajari mengenai gejala, mekanisme, cara detoksifikasi serta deteksi keracunan pada sistim biologis makhluk hidup. Toksikologi sangat bermanfaat untuk memprediksi atau mengkaji akibat yang berkaitan dengan bahaya toksik dari suatu zat terhadap manusia dan lingkungannya.

Toksikologi forensik, adalah penerapan Toksikologi untuk membantu investigasi medikolegal dalam kasus kematian, keracunan maupun penggunaan obat-obatan. Dalam hal ini, toksikologi mencakup pula disiplin ilmu lain seperti kimia analitik, farmakologi, biokimia dan kimia kedokteran. Yang menjadi perhatian utama dalam toksikologi forensik bukanlah keluaran aspek hukum dari investigasi secara toksikologi, namun mengenai teknologi dan teknik dalam memperoleh serta menginterpretasi hasil seperti: pemahaman perilaku zat, sumber penyebab keracunan/pencemaran, metode pengambilan sampel dan metode analisa, interpretasi data terkait dengan gejala/efek atau dampak yang timbul serta bukti-bukti lainnya yang tersedia.

Seorang ahli toksikologi forensik harus mempertimbangkan keadaan suatu investigasi, khususnya adanya catatan mengenai gejala fisik, dan adanya bukti apapun yang berhasil dikumpulkan dalam lokasi kriminal/kejahatan yang dapat mengerucutkan pencarian, misalnya adanya barang bukti seperti botol obat-obatan, serbuk, residu jejak dan zat toksik (bahan kimia) apapun yang ditemukan. Dengan informasi tersebut serta sampel yang akan diteliti, ahli toksikologi forensik harus dapat menentukan senyawa toksik apa yang terdapat dalam sampel, dalam konsentrasi berapa, dan efek yang mungkin terjadi akibat zat toksik tersebut terhadap seseorang (korban).

Dalam mengungkap kasus kejahatan/pencemaran lingkungan, toksikologi forensik digunakan untuk memahami perilaku pencemar, mengapa dapat bersifat toksik terhadap biota dan manusia, dan sejauhmana risikonya, serta mengidentifikasi sumber dan waktu pelepasan suatu bahan pencemar. Kemudian dilakukan pengujian yang sistematis terhadap informasi lingkungan antara lain untuk menentukan sumber pencemaran bahan kimia, waktu pelepasan ke lingkungan, distribusi spatial suatu peristiwa pencemaran, hubungan paparan dengan dosis dan respon/efek toksik. Serta mencakup semua aspek pencemaran dan kontaminasi baik di udara, air, tanah dan biota.

Prinsip Dasar dalam Investigasi Toksikologi:

Dalam menentukan jenis zat toksik yang menyebabkan keracunan, seringkali menjadi rumit karena adanya proses yang secara alamiah terjadi dalam tubuh manusia. Jarang sekali suatu bahan kimia bertahan dalam bentuk asalnya didalam tubuh. Bahan kimia, ketika memasuki tubuh akan mengalami proses ADME, yaitu absorpsi, distribusi, metabolisme dan ekskresi. Misalnya, setelah memasuki tubuh, heroin dengan segera termetabolisme menjadi senyawa lain dan akhirnya menjadi morfin, menjadikan investigasi yang lebih detail perlu dilakukan seperti jenis biomarker (petanda biologik) zat racun tersebut, jalur paparan zat, letak jejak injeksi zat pada kulit dan kemurnian zat tersebut untuk mengkonfirmasi hasil diagnosa. Zat toksik juga kemungkinan dapat mengalami pengenceran dengan adanya proses penyebaran ke seluruh tubuh sehingga sulit untuk terdeteksi. Walaupun zat racun yang masuk dalam ukuran gram atau miligram, sampel yang diinvestigasi dapat mengandung zat racun atau biomarkernya dalam ukuran mikrogram atau nanogram, bahkan hingga pikogram.

Bapak Toksikologi Modern, Paracelsus (1493-1541) menyatakan bahwa "*semua zat adalah racun; tidak ada yang bukan racun. Dosis yang tepat membedakan suatu racun dengan obat*". Toksikan (zat toksik) adalah bahan apapun yang dapat memberikan efek yang berlawanan (merugikan). Racun merupakan istilah untuk toksikan yang dalam jumlah sedikit (dosis rendah) dapat menyebabkan kematian atau penyakit (efek merugikan) yang secara tiba-tiba. Zat toksik dapat berada dalam bentuk fisik (seperti radiasi), kimiawi (seperti arsen, sianida) maupun biologis (bisa ular). Juga terdapat dalam

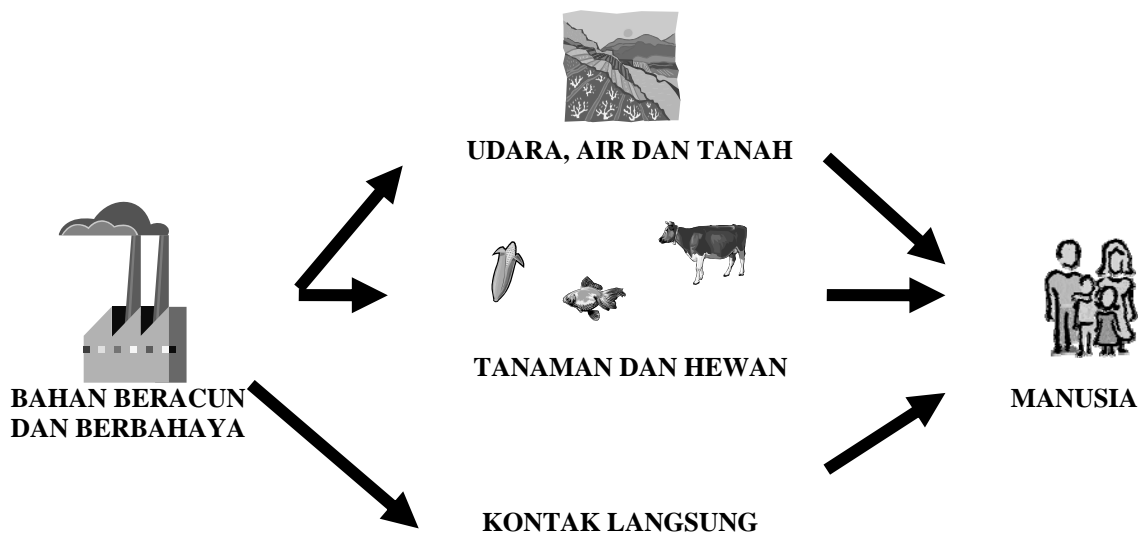
beragam wujud (cair, padat, gas). Beberapa zat ditimbulkannya, dan banyak zat toksik cenderung toksik mudah diidentifikasi dari gejala yang menyamarkan diri.

Contoh zat-zat toksik dan gejalanya :

Zat Toksik	Gejala
Asam (nitrat, hidroklorat, sulfat)	Luka bakar pada kulit, mulut, hidung, membran mukosa
Anilin	Kulit muka dan leher menghitam (gelap)
Arsen	Diare parah
Atropin	Pelebaran pupil mata
Basa (kalium, hidroksida)	Luka bakar pada kulit, mulut, hidung, membran mukosa
Asam karbolat (atau fenol lainnya)	Bau desinfektan
Karbon monoksida	Kulit berwarna merah terang
Sianida	Kematian cepat, kulit memerah
Keracunan makanan	Muntah, nyeri perut
Senyawa logam	Diare, muntah, nyeri perut
Nikotin	Kejang
Asam oksalat	Bau bawang putih
Natrium fluorida	Kejang
Striknin	Kejang, muka dan leher menghitam (gelap)

Sulit untuk mengkategorisasi suatu bahan kimia sebagai aman atau beracun. Tidak mudah untuk membedakan apakah suatu zat beracun atau tidak. Prinsip kunci dalam toksikologi ialah *hubungan dosis-respon/Efek*. Kontak zat toksik (paparan) terhadap

organisme/tubuh dapat melalui jalur tertelan (ingesti), terhirup (inhalasi) atau terabsorpsi melalui kulit. Zat toksik umumnya memasuki organisme/tubuh dalam dosis tunggal dan besar (akut), atau dosis rendah namun terakumulasi hingga jangka waktu tertentu (kronis).



Gambar : Paparan zat toksik langsung dan tidak langsung di lingkungan

Pentingnya *Biomarker* dalam investigasi Toksikologi

Untuk menetapkan suatu paparan terhadap suatu zat toksik dapat dilakukan analisis jaringan dan cairan tubuh (*body fluids*). Hal ini ditujukan untuk mengukur kandungan zat itu sendiri, metabolit-metabolitnya, atau enzim-enzim dan bahan atau respon biologi lainnya sebagai akibat dari pengaruh zat toksik tersebut. Penetapan zat sebagai petanda bio (*Biomarker*) dengan cara demikian dikenal sebagai *biomonitoring*, dan dapat memberikan suatu indikasi penyebab/sumber paparan dan dosis internal dari suatu zat toksik.

Biomonitoring (pemantauan biologis), merupakan suatu cara deteksi adanya paparan zat beracun dan berbahaya (toksikan). Merupakan kegiatan pemantauan atau kajian terhadap zat di lingkungan atau terhadap *biomarker* nya baik dalam jaringan (organ sel), sekreta, eksresi, udara pernafasan atau kombinasinya dalam makhluk hidup. Cara pemantauan tersebut pada prinsipnya menggunakan pemahaman (kaidah) toksikologi dan merupakan acuan temuan penting dalam investigasi toksikologi.

Biomarker dapat didefinisikan sebagai parameter yang dapat dipakai untuk mengidentifikasi suatu efek beracun dalam organisme. *Biomarker* merupakan suatu senyawa spesifik yang digunakan sebagai penanda terjadinya paparan bahan-bahan toksik, baik pada tingkat individu, maupun pada populasi masyarakat. Senyawa spesifik tersebut mampu menggambarkan jenis paparan (bahan kimia), status paparan, mekanisme aksi suatu paparan dan perubahan biokimia (biomolekular) atau fisiologis atau perubahan lainnya yang dapat diukur (ditentukan) serta memprediksi risiko dampak/penyakit yang akan muncul.

Biomarker dari suatu paparan zat toksik dapat berupa zat toksik itu sendiri, metabolit dari suatu bahan yang mengalami perubahan (metabolisme) dalam tubuh (dalam darah, urin dan udara pernafasan), Protein-*adduct* dan DNA-*adduct*, parameter sitogenetik, atau enzim.

Contoh *biomarker* suatu zat toksik yang bersumber dari lingkungan, pangan yang terkontaminasi, maupun penyalahgunaan bahan toksik kimia :

- Merkuri dan logam lain dalam pangan atau dalam spesimen biologi seperti; darah, urin, kuku dan rambut untuk investigasi kasus keracunan logam dalam pangan maupun

pencemaran lingkungan daerah pertambangan

- Asam *t,t*-mukonat dalam urin (sebagai *biomarker* benzena) , Benzo[a]pyrene-diolepoxide-DNA *adduct* (sebagai *biomarker* PAH (hidrokarbon poliaromatik), untuk investigasi kasus pencemaran air, pangan dan udara akibat bahan beracun emisi hidrokarbon, kebakaran hutan, dll.
- Aktivitas asetilkolinesterase dalam darah untuk investigasi kasus keracunan atau pencemaran pestisida organofosfat dan karbamat.

Hingga saat ini, belum banyak *biomarker* terhadap paparan di lingkungan yang dapat digunakan untuk memperkirakan paparan secara kuantitatif. Dalam sebagian besar kasus, *biomarker* terhadap paparan memberikan indikasi paparan yang bersifat semi-kuantitatif dan kualitatif. Walaupun penggunaan *biomarker* dapat memperbaiki metode kajian terhadap paparan, penggunaannya masih memiliki keterbatasan, terutama karena baru sedikit *biomarker* yang tervalidasi. Tantangan dalam kaitannya dengan penggunaan *biomarker* meliputi identifikasi sumber, farmakokinetika, waktu paparan, variasi biologis, respon yang berubah akibat paparan, prosedur pengambilan sampel yang *invasive* dan masalah etika.

Darah dan urin merupakan media utama sebagai petanda biologik terhadap paparan zat toksik. Darah dan urin, sebagaimana udara pernafasan dan saliva, dapat digunakan untuk mendokumentasikan paparan terkini; paparan di masa lalu dapat dievaluasi menggunakan darah dan urin sebagaimana jaringan yang mengandung keratin (rambut dan kuku), jaringan yang menulang (gigi dan tulang), jaringan adiposa dan air susu. Jaringan adiposa dan tulang juga dapat memperlihatkan sumber paparan internal yang akan timbul di kemudian hari. Media lain yang tersedia dalam untuk studi *biomarker* meliputi feses, dahak, dll. Waktu pengambilan sampel spesimen biologis tergantung dari toksikokinetika masing-masing zat.

Meskipun metode-metode pengkajian paparan luar seringkali lebih praktis daripada metode *biomonitoring*, metode ini memberikan bukti langsung untuk paparan individu-individu dalam suatu populasi terhadap zat toksik tertentu di lingkungan. Pengukuran kuantitatif dapat memungkinkan penetapan hubungan dosis-efek,

khususnya jika toksikokinetika zat tersebut diketahui dengan pasti.

Metoda Analisa Zat Toksik

Kini, banyak teknik yang tersedia untuk penyelidikan terhadap *Biormarker* ataupun zat toksik dari beragam sumber pencemaran/keracunan, seperti zat anorganik, organik, logam, media air, udara dan lain-lain. Instrumentasi kimia modern yang dapat digunakan untuk analisis zat toksik antara lain: *Atomic Absorption Spectrometry* (AAS) untuk deteksi logam, *Gas Chromatography* (GC) untuk deteksi senyawa organik yang volatil, *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) untuk deteksi senyawa yang non-volatil.

Dalam memilih metode pengambilan sampel dan analisis, perilaku bahan kimia dalam tubuh dan proses kimia alamiah yang terjadi di lingkungan harus dipahami terlebih dahulu, supaya kombinasi teknik pengambilan sampel dan metode analisis memuaskan. Disinilah, pentingnya akan pemahaman Toksikologi dan dukungan dari disiplin ilmu lainnya seperti kimia analitik, farmakologi atau kimia kedokteran dan kimia lingkungan. Dengan demikian akan dapat menentukan jenis sampel yang diambil, peralatan pengambilan sampel yang tepat, waktu pengambilan sampel sesuai dengan potensi paparan, dapat minimalisasi efek pengganggu serta diperolehnya sensitivitas metode analitik yang tepat.

Dengan strategi yang tepat, maka dapat dijadikan sebagai asupan dalam menjawab beragam pertanyaan seperti: Apa (dan siapa) penyebab keracunan/pencemaran? Kapan dan bagaimana keracunan/pencemaran terjadi? Bagaimana caranya zat racun menyebabkan efek terhadap tubuh manusia? Seberapa luas pencemaran yang terjadi? Apakah hasil pengujian bersifat valid? Dan apakah telah diinterpretasi secara benar? Pihak mana saja yang berpotensi memiliki tanggung jawab terhadap peristiwa keracunan/pencemaran tersebut? dan lain-lain.

Kesimpulan

Toksikologi forensik merupakan ilmu investigasi kasus atau pencarian bukti masalah keracunan. Lebih jauh, toksikologi forensik merupakan bagian ilmu Toksikologi Modern dalam mengkaji perilaku zat racun dan keberadaan zat racun dalam sistim mahluk hidup serta perilaku

dalam lingkungan. Biomonitoring merupakan salah satu cabang ilmu yang mendukung investigasi bukti-bukti ilmiah dalam Toksikologi Forensik. Yang menjadi perhatian utama toksikologi forensik adalah pemahaman perilaku zat, sumber penyebab keracunan/pencemaran, metode pengambilan sampel dan metode analisa, interpretasi data terkait dengan gejala/efek atau dampak yang timbul serta bukti-bukti lainnya yang tersedia. Dengan pemahaman Toksikologi dan dukungan disiplin ilmu yang terkait, maka dapat diambil strategi/langkah yang tepat yang diperlukan agar dapat membuat suatu kesimpulan mengenai kasus terkait keracunan dan pencemaran lingkungan.

Daftar Pustaka

1. Bell, S. *Forensic Chemistry*. Pearson Education Inc., 2006
2. Casarett, L.J. and Doull, J. *Toxicology, the Basic Science of Poisons*. McGraw-Hill Companies, Inc., New York, 1991
3. Deutsche Forschungsgemeinschaft (2002). *Biological Monitoring*. Prospects in Occupational and Environmental Medicine. Round table discussions and colloquia. Wiley-VCH
4. Eisenbrand, G. and Metzler, M. *Toxikologie für Chemiker – Stoffe, Mechanismen, Prüfverfahren*, Georg Thieme Verlag Stuttgart, Germany, 1994.
5. Environmental Health Criteria 214: Human Exposure Assessment. International Programme on Chemical Safety (IPCS), 2000
6. Hayes, W., (ed). *Principles and Methods of Toxicology*, Raven Press, New York, 1982
7. Hughes, W. *Essentials of Environmental Toxicology*. Taylor & Francis, Washington D.C., 1975
8. Morrison, R. *Environmental Forensics*, CRC Press, 1999